

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin
Direktor: Prof. T. Eliades, DDS, MS, Dr Med Sci, PhD

Arbeit unter Leitung von Dr. med. dent. R. Patcas, PhD

Die Folgen der kieferorthopädischen Extraktionstherapie auf die Unterkieferfront bei moderatem Unterkieferzahnbogenengstand

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Nicolas Marc Villard

Genehmigt auf Antrag von Prof. T. Eliades, DDS, MS, Dr Med Sci, PhD
Zürich 2014

Hinweis auf geplante Publikation

Eine verkürzte Version der vorliegenden Dissertationsarbeit wurde für eine Publikation mit dem Dissertanten als Erstautor eingereicht.

*Für meine Grosseltern und Eltern, die mich mit viel Liebe und Fürsorge
grossgezogen haben und für meine Freunde, die mir in meinem Leben
Halt geben.*

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	Seite 6
2. Einleitung	Seite 8
2.1 Literaturübersicht	Seite 9
3. Wissenschaftliche Fragestellung	Seite 13
4. Material und Methoden	Seite 14
4.1 Untersuchte Patientengruppe	Seite 14
4.2 Untersuchungsunterlagen	Seite 15
4.3 Auswertungsmethoden und Messungen	Seite 15
4.3.1 Modelle	Seite 15
4.3.2 Fernröntgenbilder	Seite 16
4.4 Methodologischer Aufbau	Seite 21
4.5 Statistische Datenauswertung	Seite 21
5. Resultate	Seite 23
5.1 Reproduzierbarkeit	Seite 23
5.2 Vergleichbarkeit beider Gruppen	Seite 23
5.2.1 Engstand im Unterkiefer vor Behandlung (Little Index am Anfang)	Seite 23
5.2.2 Dauer der aktiven Behandlung	Seite 23
5.2.3 Dauer der Retentionsüberwachung	Seite 24
5.2.4 Alter in Retention	Seite 25

5.3	Veränderung der klinischen Kronenlängen	Seite 26
5.3.1	Non-Ex-Gruppe	Seite 26
5.3.2	Ex-Gruppe	Seite 27
5.4	Explorative Datenanalyse und Korrelationen	Seite 29
5.4.1	Korrelationen zum Therapieentscheid	Seite 30
5.4.2	Korrelationen zur Verlängerung der Kronenlänge der Eckzähne	Seite 31
5.4.3	Korrelationen zur Verlängerung der Kronenlänge der Frontzähne	Seite 32
5.4.4	Regressionsanalyse	Seite 34
6.	Diskussion	Seite 36
6.1	Reproduzierbarkeit	Seite 36
6.2	Ausgangsdaten beider Gruppen	Seite 36
6.3	Veränderungen der klinischen Kronenlänge	Seite 38
6.4	Datenanalyse und Korrelationen	Seite 39
6.5	Konklusionen	Seite 44
7.	Literaturverzeichnis	Seite 45
8.	Danksagung	Seite 48
9.	Lebenslauf	Seite 49

1. Zusammenfassung

Zur Behandlung von moderatem Engstand in der Unterkieferfront bieten sich dem Kieferorthopäden zwei wesentliche Möglichkeiten zur Platzbeschaffung. Der Engstand kann entweder durch die Vergrösserung des Zahnbogens (non-Ex) oder durch die Extraktion von Zähnen, in aller Regel Prämolaren (Ex), therapiert werden. Die Therapiewahl hat dabei nicht nur grossen Einfluss auf die Dentition, sondern auch auf die umliegenden Gewebe wie der Knochen und die Schleimhaut. Das Ziel dieser vorliegenden Studie war die Evaluation der Folgen des Therapieentscheides Ex oder non-Ex auf die Unterkieferfront und deren umgebende Gewebe. Im speziellen wurde der Frage nachgegangen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Therapiewahl und der Häufigkeit beziehungsweise Ausmass von labialen Rezessionen in der Unterkieferfront gibt.

Von 50 konsekutiven Patienten, welche alle mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur behandelt wurden und die alle auswahlbestimmenden Kriterien erfüllten wie beispielsweise einen streng normierten Engstandsausmass im Anfangsbefund und eine Angle Klasse I Verzahnung, konnten 26 Patienten in die non-Ex-Gruppe und 24 in die Ex-Gruppe eingeschlossen werden. Aus den archivierten Patientenunterlagen wurden Modelle und Fernröntgenbilder analysiert, sowie das Alter der Patienten am Anfang und am Ende der aktiven Behandlung sowie in Retention festgehalten, um Therapiedauer und beobachtete Retentionszeit zu errechnen. An den Modellen wurde eine Platzbilanz erstellt (Little-Index) und die klinische Kronenlänge (Distanz Margo Gingivae – Inzisalkante, resp. Höckerspitze) der Front- und Eckzähne gemessen. Die Fernröntgenbilder wurden durchgezeichnet und verschiedene dentale, symphyseale und skelettale Variablen berechnet. Mit Hilfe von deskriptiver Statistik, Korrelationen und multiplen Regressionsanalysen wurden die Daten analysiert.

Die Vergleichbarkeit der non-Ex- und Ex-Gruppe wurde gewährleistet, indem sich Unterkieferzahnbogenengstand vor der Therapie, die Retentionsüberwachungszeit sowie das Alter der Patienten in Retention nicht signifikant unterschieden.

Tendenziell nahmen die Kronenlängen der Front- und Eckzähne in beiden Gruppen vom Anfang zur Retention zu, jedoch konnten keine signifikanten Differenzen eruiert werden. Dafür unterschied sich die Varianz der durchschnittlichen Differenz der Eckzahnlänge zwischen Anfang und Finale im Vergleich der Ex- und non-Ex-Gruppe ($p = 0.007$). Somit waren die Eckzahn­längen nach der beobachteten Retentionszeit in der Ex-Gruppe weiter um den Mittelwert gestreut als in der non-Ex-Gruppe. Der Inklinationswinkel ($p = 0.027$) und die Symphysenbreite ($p = 0.004$) des Anfangbefundes korrelierten mit der klinischen Kronenlängenzunahme von Frontzahnkronen. Auch die vertikale Gesichtsentwicklung schien tendenziell mit der Verlängerung der Kronenlängen der Eck- und der Frontzähne vergesellschaftet zu sein. Da jedoch kein Regressionsmodell aussagekräftig war, konnte die Zunahme der Kronenlängen nicht genügend mit den bestimmten Variablen erklärt werden. Auch der Therapieentscheid konnte mit keiner der untersuchten Variablen signifikant assoziiert werden. Auffallend war jedoch, dass die topographische Lage der Unterkieferfrontzähne durch den Extraktionsentscheid stark beeinflusst wurde. Vor allem der Inklinationswinkel der Unterkieferfront und die meisten symphysealen Variablen wurden durch den Therapieentscheid signifikant beeinflusst ($p \leq 0.050$). Auch die Dauer der aktiven Therapie unterschied sich signifikant zwischen den beiden Gruppen ($p \leq 0.001$), da nach der Extraktion von Prämolaren durchschnittlich 250 Behandlungstage mehr notwendig waren als in der non-Ex-Gruppe. Trotz der Limitationen dieser Studie kann davon ausgegangen werden, dass der Extraktionsentscheid nicht mit der Entwicklung von labialen, gingivalen Rezessionen in der Unterkieferfront assoziiert ist.

2. Einleitung

Engstand in der Unterkieferfront ist selbst bei einer sagittalen Verzahnung einer Angle Klasse I (Neutralverzahnung) eine häufige Stellungsanomalie des menschlichen Gebisses (Proffit, et al. 1998). Die weltweite Prävalenz ist insofern nicht sinnvoll bestimmbar, da grosse Unterschiede zwischen verschiedenen ethnischen Gruppen bestehen (Brunelle, et al. 1996). Grundsätzlich lässt sich dennoch festhalten, dass es vermutlich keinen Unterschied in der Prävalenz von Unterkieferengstand zwischen Frauen und Männern gibt und dass Engstand mit steigendem Alter häufiger auftritt und bestehender Engstand verstärkt wird (Jonsson, et al. 2009, Jonsson & Magnusson 2010, Staufer & Landmesser 2004).

Es lassen sich verschiedene Ursachen für die Entstehung und Progression von Engstand in der Unterkieferfront unterscheiden. Ist es beim Kind und Jugendlichen ein zu kleines Platzangebot im Frontzahnbogen in Relation zu der mesio-distalen Breite der Inzisiven, kommen beim Adoleszenten als zusätzliche Faktoren das postpubertäre Wachstum der Mandibula und die damit assoziierte Aufrichtung der Unterkieferfront nach lingual hinzu. Beim Adulten kann wegen der lebenslangen, physiologischen Mesialwanderung der Zähne mit zunehmendem Alter Engstand entstehen oder bestehender Engstand verstärkt werden (Jonsson, et al. 2009, Jonsson & Magnusson 2010, Patcas 2010).

Um einen Engstand in der Unterkieferfront kieferorthopädisch zu korrigieren, kann einerseits der Zahnbogen gestreckt und die Eckzahndistanz verbreitert werden, oder andererseits der fehlende Platz durch Reduktion des Zahnmaterials mittels Extraktionen oder approximaler Schmelzreduktion ausgeglichen werden. Die approximale Schmelzreduktion eignet sich jedoch nur für die Korrektur von geringgradigem Engstand (Livas, et al. 2013), und die Verbreiterung der Eckzahndistanz gilt als nicht stabil (de la Cruz, et al. 1995). Im Gegensatz zu deutlichem Engstand, wo die Extraktionstherapie oft nicht zu umgehen ist, ist der Extraktionsentscheid in moderaten Engstandfällen oft äusserst schwierig zu fällen. Denn gerade bei Fällen mit moderatem Engstand im Unterkiefer haben sowohl die

Nichtextraktionstherapie wie auch die Extraktionstherapie eine deutliche Wirkung auf die Unterkieferfront.

Klinische Erfahrungen zeigen, dass kieferorthopädische Zahnbewegungen einen Einfluss auf die parodontalen Gewebe haben, in gewissen Fällen zu Schwund von marginalem Knochen und Gingiva führen und die Entstehung von Rezessionen begünstigen können (Wennstrom, et al. 1987).

2.1. Literaturübersicht

In der Literatur wird kontrovers über die anatomischen Voraussetzungen, das Alter der Patienten bei der Behandlung und den Effekt von kieferorthopädischen Bewegungen bei der Entstehung von labialen Rezessionen der Unterkieferfront- und Eckzähne diskutiert.

In experimentellen Studien an Affen konnte gezeigt werden, dass bei der Labialbewegung von Unterkieferinzisiven biologische Prozesse die parodontalen Gewebe in ihrer Dimension verändern und bedingt durch den Verlust von marginalem Knochen und Bindegewebe der Gingivarand zurückgeht und eine Rezession entsteht (Steiner, et al. 1981, Wennstrom, et al. 1987). Dies widerspricht den Aussagen in den ganz frühen Untersuchungen am Menschen (Rateitschak, et al. 1968) und Affen (Wingard & Bowers 1976), in welchen bei Zahnbewegungen in vestibulärer Richtung keine Veränderung in der Höhe des marginalen Knochens festgestellt und sogar die Induktion von Knochenapposition vestibulär postuliert wurde.

Verschiedene Autoren versuchten mit genaueren Forschungsmethoden am Parodont Prädiktoren zum Auftreten von Rezessionen zu finden und allenfalls Grenzen zu definieren. Vor allem die Dicke der keratinisierten Gingiva scheint wichtig zu sein, um die Toleranz und Stabilität der Gewebe vorauszusagen. Ist sie vor der Therapie dünner als 2 mm, so steigt das Risiko für Gingivarezessionen an (Aziz & Flores-Mir 2011, Dorfman 1978, Yared, et al. 2006). Mit Hilfe einer

histometrischen Analyse gelang es Wennstrom und seinen Koautoren zu zeigen, dass durch die Labialbewegung der Inzisiven die Gingivagrenze in 50% der Fälle nach apikal verschoben wurde. Das Ausmass der Verschiebung war jedoch nur sehr gering und ein effektiver Attachmentverlust des Bindegewebes wurde nur bei Vorliegen einer Entzündung des Zahnfleisches festgestellt (Wennstrom, et al. 1987). Verschiedene Studien, die das Auftreten von labialen Rezessionen untersuchten, kamen zum Schluss, dass kieferorthopädische Behandlungen zur Rezessionsbildung beitragen können. Im Vergleich zu unbehandelten Personen traten Rezessionen nach einer kieferorthopädischen Behandlung signifikant häufiger auf, wobei die Unterkieferfront besonders oft betroffen zu sein scheint und zudem die Häufigkeit von Rezessionen mit dem Alter der Patienten zunimmt (Renkema, et al. 2013, Renkema, et al. 2013, Renkema, et al. 2013, Slutzkey & Levin 2008). Auch die Bewegungsstrecke und -richtung sowie die Kraftgrösse der Zahnbewegung scheinen in der Entstehung von Rezessionen eine ätiologische Rolle zu spielen. Werden die Unterkieferinzisiven zu stark nach bukkal bewegt, sodass es zu einer Fenestrierung, Dehiszenz oder sogar zum Verlust der bukkalen Alveolarknochenwand kommt, ist das Risiko für gingivale Rezessionen am grössten (Wennstrom 1996). Bei zu starker, aber auch zu schneller Labialbewegung der Unterkieferinzisiven besteht das Risiko, dass dem Remodeling des Alveolarfortsatzes nur ungenügend Zeit gewährt wird und sich daraus folgend Knochendehiszenzen und Rezessionen bilden (Diedrich 1995, Joss-Vassalli, et al. 2010).

Joss-Vassalli und Koautoren kritisierten in ihrem Literaturreview die Qualität der klinischen Untersuchungen und der Tierstudien und machten darauf aufmerksam, dass falls in den untersuchten Arbeiten signifikante Unterschiede bezüglich gingivalen Rezessionen gefunden worden seien, die klinische Relevanz immer zu hinterfragen ist (Joss-Vassalli, et al. 2010). Es finden sich auch diverse Studien, die gingivale Rezessionen in der Unterkieferfront mit kieferorthopädischer Kraftanwendung und Zahnverschiebungen nicht in Verbindung bringen konnten oder eine Prävalenz von Rezessionen nach der Behandlung beschrieben, welche

äusserst gering ist.

Die klinische Kronenlänge ist vor allem in retrospektiven Studien, welche sich an Gipsmodellen orientieren, ein zuverlässiger Messwert, um mögliche Rezessionen nach einer kieferorthopädischen Behandlung zu quantifizieren. Der Vergleich einer Gruppe von ausgewachsenen Angle-Klasse II Patienten, bei welchen die Unterkieferfront nicht bewegt wurde, mit einer Gruppe, bei welchen die Inzisiven nach bukkal verschoben wurden, ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Auftretens von Rezessionen oder Veränderungen im Parodont (Artun & Grobety 2001). Auch Aziz und Koautoren kamen in ihre Übersichtsarbeit zum Schluss, dass es keine Assoziation zwischen gingivalen Rezessionen in der Unterkieferfront und der Labialverschiebung von Inzisiven gibt (Aziz & Flores-Mir 2011). Eine weitere Studie konnte gleichermassen keinen Unterschied feststellen in der klinischen Kronenlänge im Vergleich zweier Patientengruppen, bei denen die Unterkieferfront nach labial bewegt wurde oder keine Bewegung stattgefunden hat (Djeu, et al. 2002). Auch in einer longitudinalen Studie, die das Auftreten von Rezessionen vor und nach der kieferorthopädischen Behandlung eines Unterkieferengstandes auswertete, wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich Rezessionen gefunden (Melsen & Allais 2005). Betrachtet wurden dabei Patienten mit Engstand in der Unterkieferfront bei bestehender Angle-Klasse I, die ohne Extraktionen von Prämolaren behandelt wurden. Weniger als 10% der Patienten hatten nach der Behandlung gingivale Rezessionen von mehr als 2 mm; Werte, die mit den Erkenntnissen der Studie von Vasconcelos im Einklang stehen (Vasconcelos, et al. 2012).

Aus dieser Literaturübersicht wird ersichtlich, dass die nötige Evidenz fehlt, um die Frage schlüssig zu beantworten, ob kieferorthopädische Zahnbewegungen einen ätiologischen Faktor für Rezessionen darstellen. Trotz widersprüchlichen Beobachtungen lässt sich nicht wegdiskutieren, dass gingivale Rezessionen in der Unterkieferfront nach kieferorthopädischen Behandlungen auftreten können. Zudem sind viele Studien nicht beweiskräftig genug, da sie gewichtige methodologische

Mängel aufweisen. Besonders bedenklich ist die Tatsache, dass es keine Studie gibt, welche den Anfangsengstand normiert und beschreibt. Da Anfangsengstand sowie Therapieentscheid (Ex/non-Ex) zwingendermassen das Ausmass der Zahnbewegung wesentlich beeinflussen, besteht deshalb weiterhin Klärungsbedarf, Rezessionsbildung in einer Langzeitstudie bei normiertem Anfangsengstand und gruppiert nach Therapieentscheid zu untersuchen.

3. Wissenschaftliche Fragestellung

In der Behandlung von kieferorthopädischen Klasse I Fällen mit moderatem Engstand im Unterkiefer wird der konzeptionelle Extraktionsentscheid meist stark von der Beurteilung des Manövrierraumes im Unterkiefer, der Besorgnis vor Rezessionen in der Unterkieferfront und vom vertikalen Aufbau des Schädels beeinflusst. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, Langzeitbeobachtungen extrahierter Fälle nicht-extrahierten Fällen mit gleichwertigem Zahnbogenengstand gegenüberzustellen. Insbesondere wurde der Frage nachgegangen, ob ein allfälliger Zusammenhang zwischen Therapiewahl und Häufigkeit beziehungsweise Ausmass von Rezessionen besteht. Dabei wurde die Nullhypothese gestellt, dass der Behandlungsentscheid (Ex/non-Ex) die Bildung von labialen Rezessionen in der Unterkieferfront nicht beeinflusst. Zusätzlich sollte anhand von kephalometrischen Variablen das Verhältnis zwischen Therapiewahl und dem vertikalen Schädelaufbau untersucht werden.

4. Material und Methoden

4.1. Untersuchte Patientengruppe

Die vorliegende retrospektive, longitudinale Studie wurde an einer Gruppe von 50 am Zentrum für Zahnmedizin (ZZM) der Universität Zürich (UZH) kieferorthopädisch behandelten Patienten durchgeführt. Zwei Behandlungsgruppen wurden einander gegenübergestellt. Gruppe A wurde ohne Extraktionen behandelt (**non-Ex**), bei Gruppe B wurde im Verlauf der Behandlung im Unterkiefer beidseits je ein Prämolare extrahiert (**Ex**).

Auswahlbestimmende Kriterien waren:

- Abgeschlossene kieferorthopädische Behandlung mit festsitzender Apparatur im Unterkiefer
- Patienten aus Retentionskontrollen entlassen zwischen 2000 und 2011
- Vollständige Dokumentation mittels Patientenakte (Krankengeschichte) und Vorliegen von Studienmodellen sowie Fernröntgenbildern vor Behandlungsbeginn (**Anfang**), unmittelbar nach Behandlungsende (**Debond**) und in Retention (**Finale**)
- Keine kieferchirurgischen Eingriffe, kein Stripping und keine Extraktionen von Frontzähnen oder Molaren im Unterkiefer, keine Nichtanlagen
- Retentionszeit (Zeitintervall zwischen Debond- und Finale-Unterlagen) minimal 3 Jahre
- **Anfangsbefund:** Vollständig durchgebrochene bleibende Dentition (bis zum ersten Molaren) mit moderatem Engstand (Little Index 4 bis 9 mm) bei einer Angle Kl.-I Verzahnung der Molaren (Abweichungen grösser als 1/2 Kl II, resp. 1/4 Kl III wurden ausgeschlossen)

Von den 50 Patienten, die diese Bedingungen erfüllten, konnten 26 Patienten in die non-Ex-Gruppe und 24 Patienten in die Ex-Gruppe eingeschlossen werden.

4.2. Untersuchungsunterlagen

Bei jedem Patient wurden aus den archivierten Patientenunterlagen die Modelle und Fernröntgenbilder von Anfang, Debond und Finale zur Analyse entnommen und aus der Krankengeschichte das Alter der Patienten bei Behandlungsbeginn, Behandlungsende und bei der Retentionsdokumentation bestimmt, sowie die Dauer der aktiven Behandlung (Einstieg festsitzender Apparatur bis Debond) berechnet.

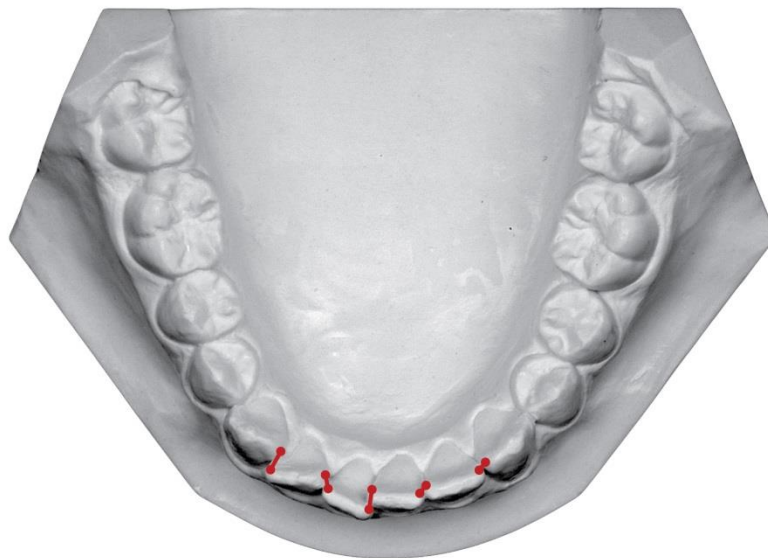
4.3. Auswertungsmethoden und Messungen

4.3.1. Modelle

Die Vermessung der Modelle erfolgte mit eine digitalen Schublehre auf zwei Dezimalstellen genau. Folgende Bestimmungen wurden an den Unterkiefermodellen durchgeführt:

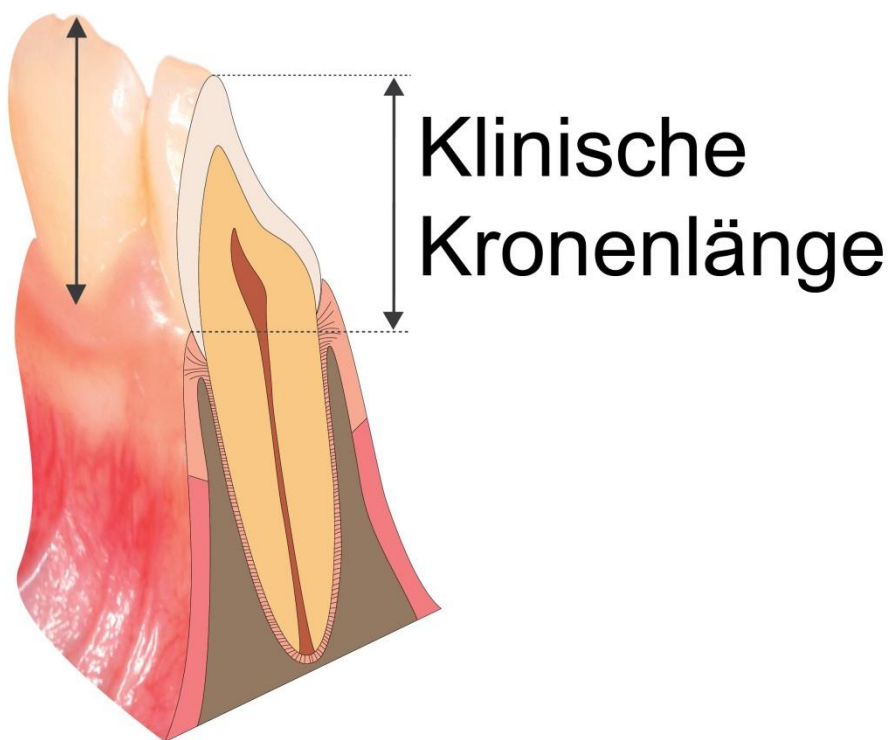
- **Platzbilanz** gemäss Irregularity Index nach Little (Little 1975), wobei in okklusaler Ansicht die Summe der Verschiebung der idealen Kontaktpunkte der sechs Frontzähne errechnet wird (Abbildung 1).

Abbildung 1.



- **Klinische Kronenlänge** aller Front- und Eckzähne, definiert als Distanz zwischen dem tiefsten Punkt am Gingivalsaum (Margo gingivae) und Höckerspitze der Eckzähne/ beziehungsweise Inzisalkante der Frontzähne (Abbildung 2). Eine intraindividuelle Vergrößerung der klinischen Kronenlänge über die Zeit wurde als Rezessionsbildung gedeutet.

Abbildung 2.



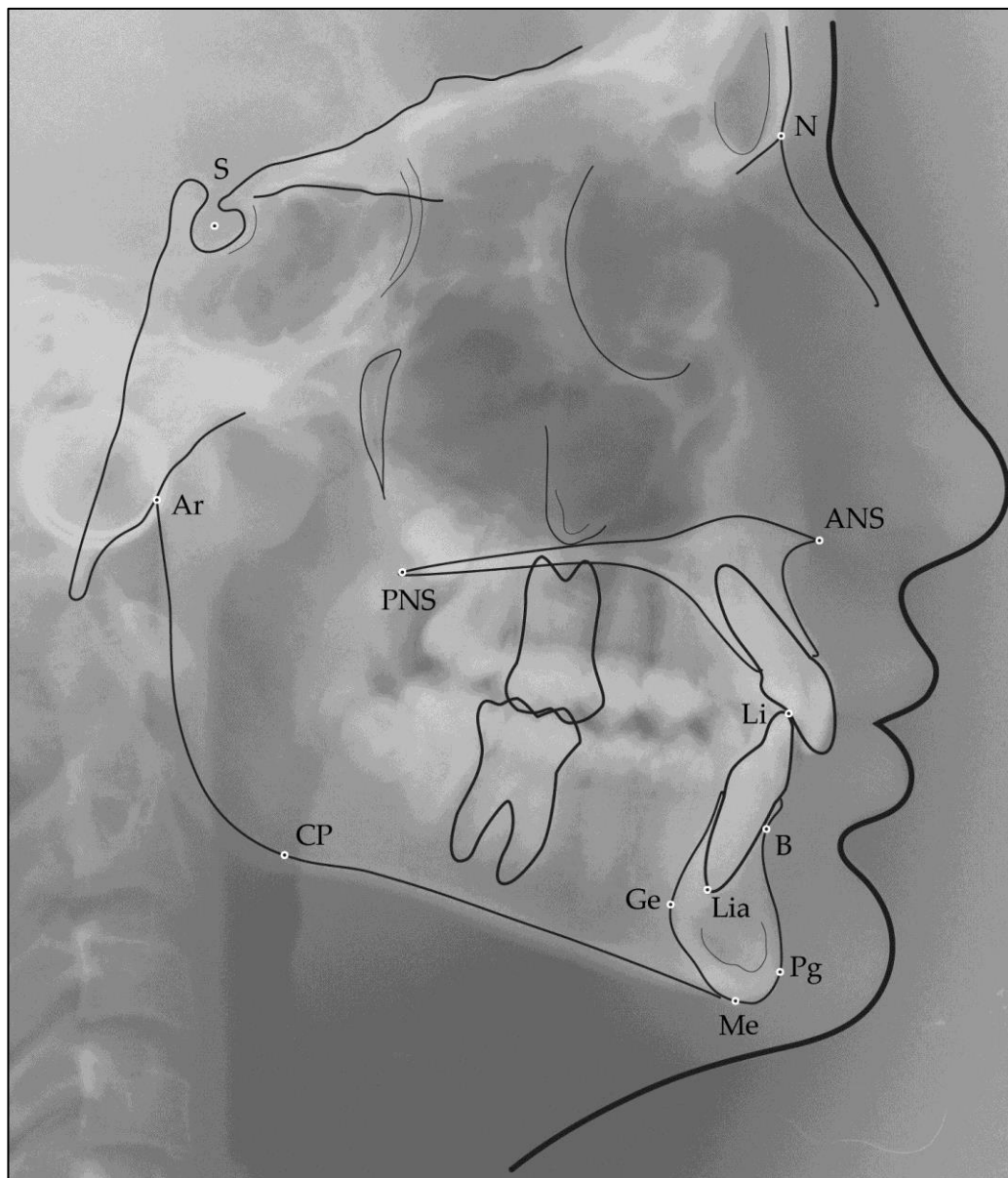
4.3.2. Fernröntgenbilder

Alle Fernröntgenbilder (Anfang, Debond, Retention) wurden mit einem 0.3 mm H1-Fix Bleistift auf eine 0.14 Acetatfolie (Forma) durchgezeichnet. Waren von paramedianen Strukturen Doppelkonturen sichtbar, wurden auch diese festgehalten und erst in der Computerauswertung gemittelt. Die verwendeten kephalometrischen Bezugspunkte sind in Tabelle 1 aufgelistet und in Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 1.

<i>Kephalometrischer Bezugspunkt</i>	<i>Definition</i>
Apex (Lia)	Apex der unteren zentralen Inzisiven
Articulare (Ar)	Röntgenologischer Schnittpunkt zwischen dorsaler Kontur des Processus articularis mandibulae und Os occipitale
B-Punkt (B)	Tiefster Punkt an der ventralen Symphysenkontur
Corpustangentenpunkt (CP)	Anatomisch nicht definiert, dient der Konstruktion der Mandibular Plane (MP)
Genion (Ge)	Dorsalster, prominentester Punkt des Kinns
Inzisale (Li)	Inzispunkt der unteren zentralen Inzisiven
Menton (Me)	Tiefster Punkt des röntgenologischen Querschnitts des Kinns
Nasion (N)	Vorderster Punkt der Sutura nasofrontalis. Bei breiter, keilförmiger Sutura, liegt N auf der Verlängerung der anterioren Begrenzung des Os nasale in der Mitte der Sutura
Pogonion (Pg)	Anteriorster, prominenter Punkt des Kinns
Sella (S)	Mittelpunkt der Sella turcica
Spina nasalis anterior (ANS)	Vorderster Punkt der Maxilla am unteren Rand der Apertura piriformis
Spina nasalis posterior (PNS)	Dorsalster medianer Punkt des Os palatinum. Falls die anatomische Struktur nicht sichtbar war, wurde für die antero-posteriore Lokalisation die Kontur des Tuberhinterlandes auf die Nasenbodenlinie verlängert

Abbildung 3.



Mit Hilfe der beschriebenen Punkte wurden die kephalometrischen Messungen vorgenommen, welche in Tabelle 2 beschrieben sind und in den Abbildungen 4 und 5 widergegeben sind.

Tabelle 2.

<i>Kephalometrischer Messwert</i>	<i>Definition</i>
<i>Streckenmessungen (in mm)</i>	
N-Me	Distanz zwischen Nasion und Menton
S-CP	Distanz zwischen Sella und Corpustangentenpunkt
D1	Distanz zwischen Li und der Tangente an Pg senkrecht auf MP
D2	Distanz zwischen B und der Tangente an Pg senkrecht auf MP
D3	Distanz zwischen Lia und der Tangente an Ge senkrecht auf MP
D4	Distanz zwischen den Tangenten an Pg und Ge
<i>Winkelmessungen (in °)</i>	
DIV	Kieferbasendivergenz, umschrieben durch den Winkel aus den Geraden ANS-PNS und MP (CP und Me)
α	Winkel gebildet aus den Geraden Li-Lia und MP

Der vertikale Aufbau des Gesichtsschädels ist anhand zweier Längenmessungen beschrieben, wobei N-Me die vordere Gesichtshöhe, S-CP die hintere Gesichtshöhe definiert.

Die Referenzstruktur für die Messungen ist die Mandibular Plane (MP). Der Winkel α illustriert die Achsenneigung der Unterkiefer-Front im Verhältnis zur Referenzstruktur MP. Die Distanzen D1 bis D4 beschreiben die Symphyse und die Lage der Unterkiefer-Front in ihr.

Abbildung 4.

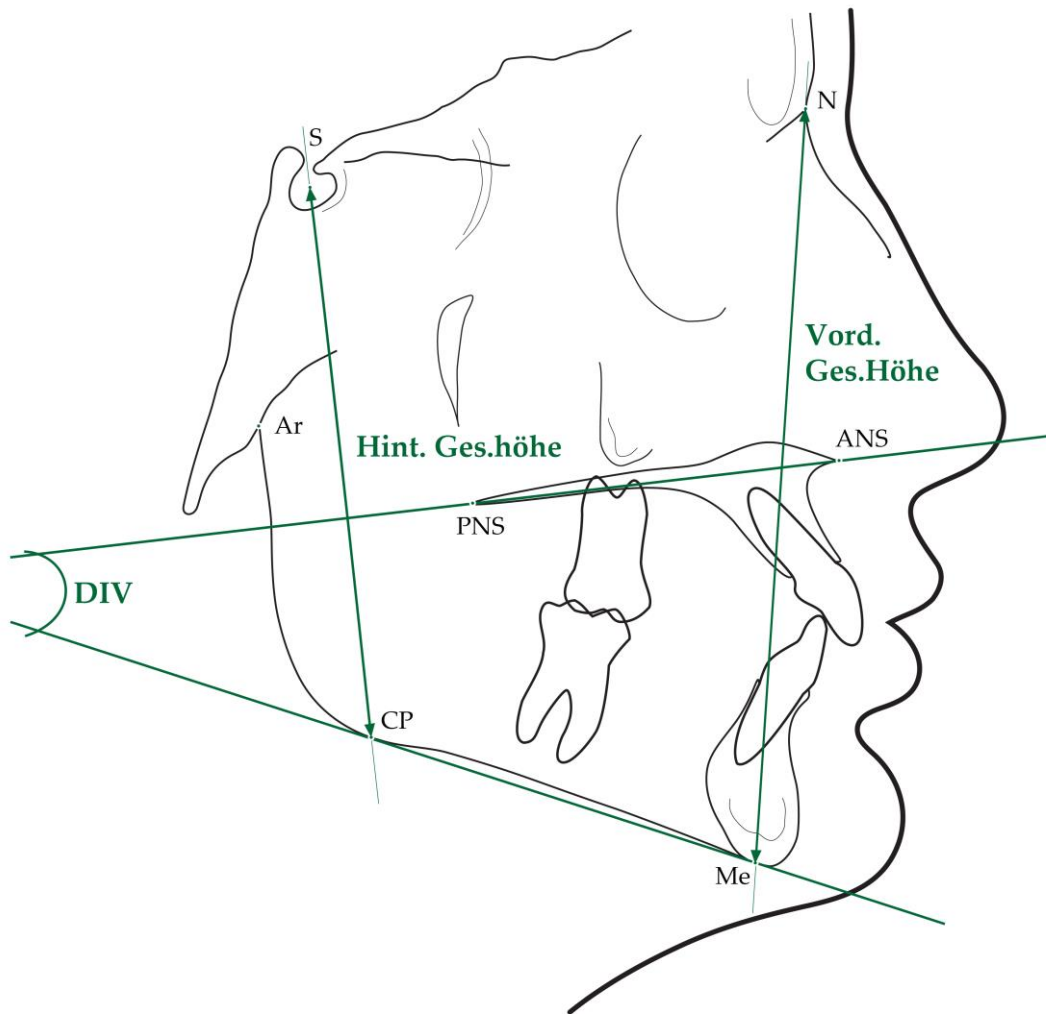
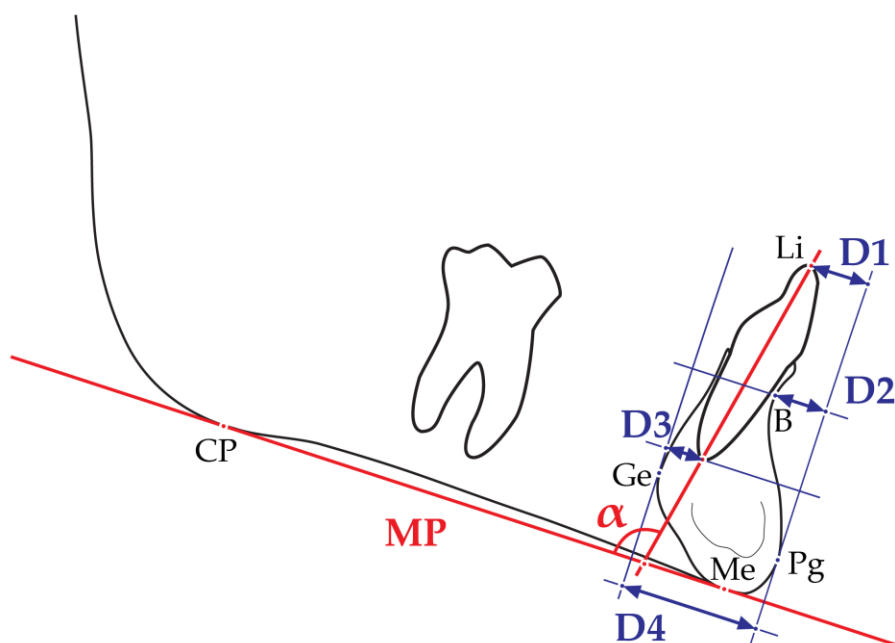


Abbildung 5.



4.4. Methodologischer Aufbau

Die erfassten Daten (wie in 4.2. und 4.3. beschriebenen) wurden wie folgt untersucht:

1. Die Voraussetzung der Reproduzierbarkeit der kephalometrischen und der Gipsmodell-Variablen wurde durch wiederholte Messungen beleuchtet (5.1).
2. Die Prämisse der Vergleichbarkeit beider Gruppen (Ex/non-Ex) wurde überprüft (5.2.), indem folgende Variablen beider Gruppen sich nicht signifikant unterscheiden sollten:
 - a. Anfänglicher Engstandausmass (5.2.1.)
 - b. Dauer der aktiven Behandlung (5.2.2.)
 - c. Retentionszeit (5.2.3.)
 - d. Alter der Patienten bei den finalen Unterlagen (5.2.4.)
3. Die Veränderung der klinischen Kronenlänge von Front- und Eckzähnen wurde untersucht und die Änderungen beider Gruppen gegenübergestellt (5.3.).
4. Weiteren möglichen Unterschieden zwischen den beiden Gruppen wurden nachgegangen, indem mögliche Assoziationen zwischen dem Therapieentscheid und dentalen, symphysealen und skelettalen Aspekten analysiert wurden (5.4.1).
5. Zusätzlich wurde untersucht, ob die Veränderungen von Eckzahn- (5.4.2.) und Frontzahnkronenlängen (5.4.3.), welche zwischen dem Anfangsbefund und dem Retentionsbefund beobachtet werden können, mit verschiedenen dentalen, symphysealen und skelettalen Aspekten in einem möglichen Zusammenhang stehen.
6. Letztlich wurde mittels Regressionsmodellen der Einfluss verschiedener Variablen auf die Veränderung der Kronenlänge untersucht (5.4.4.).

4.5. Statistische Datenauswertung

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde ein Standard Software Packet (IBM SPSS Version 20, Armonk, New York, U.S.A.) verwendet. Um die

intrapersonelle Reproduzierbarkeit der Daten zu testen, wurde die Intra-Klassen-Korrelation für absolute Übereinstimmung, basierend auf einer ein Weg Varianzanalyse (ANOVA) berechnet. Die klinischen und kephalometrischen Messungen wurden mittels deskriptiver Statistik beschrieben und explorativ analysiert. Die Annahme, dass die Variablen normalverteilt sind, wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test untersucht. Um die Vergleichbarkeit der Gruppen zu überprüfen, wurde die Mittelwertgleichheit bzw. Medianwertgleichheit verschiedener Variablen untersucht. Zur Bestimmung möglicher Korrelationen zwischen der Behandlungszeit und dem Extraktionsentscheid, sowie dem Verhältnis zwischen den Modell- und den kephalometrischen Werten, wurde je nach Anwendbarkeit der ungepaarte Student's t-Test oder der Mann-Whithney U-Test verwendet. Mit Hilfe des Levene-Tests konnten die Varianzen der Modell-Parameter verglichen werden. Um die Korrelationen zwischen einer vergrößerten klinischen Kronenlänge und verschiedenen Fernröntgenbild-Parametern zu berechnen, wurde die Spearman-Korrelationsanalyse appliziert. Kephalemetrische Parameter, die während der Behandlung beeinflusst werden, wurden für multiple Regressionsanalysen selektioniert. Die Relevanz des Modells wurde anhand des adjustierten Determinationskoeffizientes (R^2) diskutiert. P-Werte kleiner als 0.05 wurden als statistisch signifikante Resultate interpretiert.

5. Resultate

5.1. Reproduzierbarkeit

Anhand der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) konnte eine sehr gute Reproduzierbarkeit aller erfassten Messungen nachgewiesen werden. Die ICC-Werte für kephalometrische Messungen variierte zwischen 0.919 (95% CI: 0.708 – 0.979) und 0.999 (95% CI: 0.998 – 0.999), für Gipsmodell-Messungen zwischen 0.996 (95% CI: 0.992 – 0.998) und 0.999 (95% CI: 0.998 – 0.999).

5.2. Vergleichbarkeit beider Gruppen

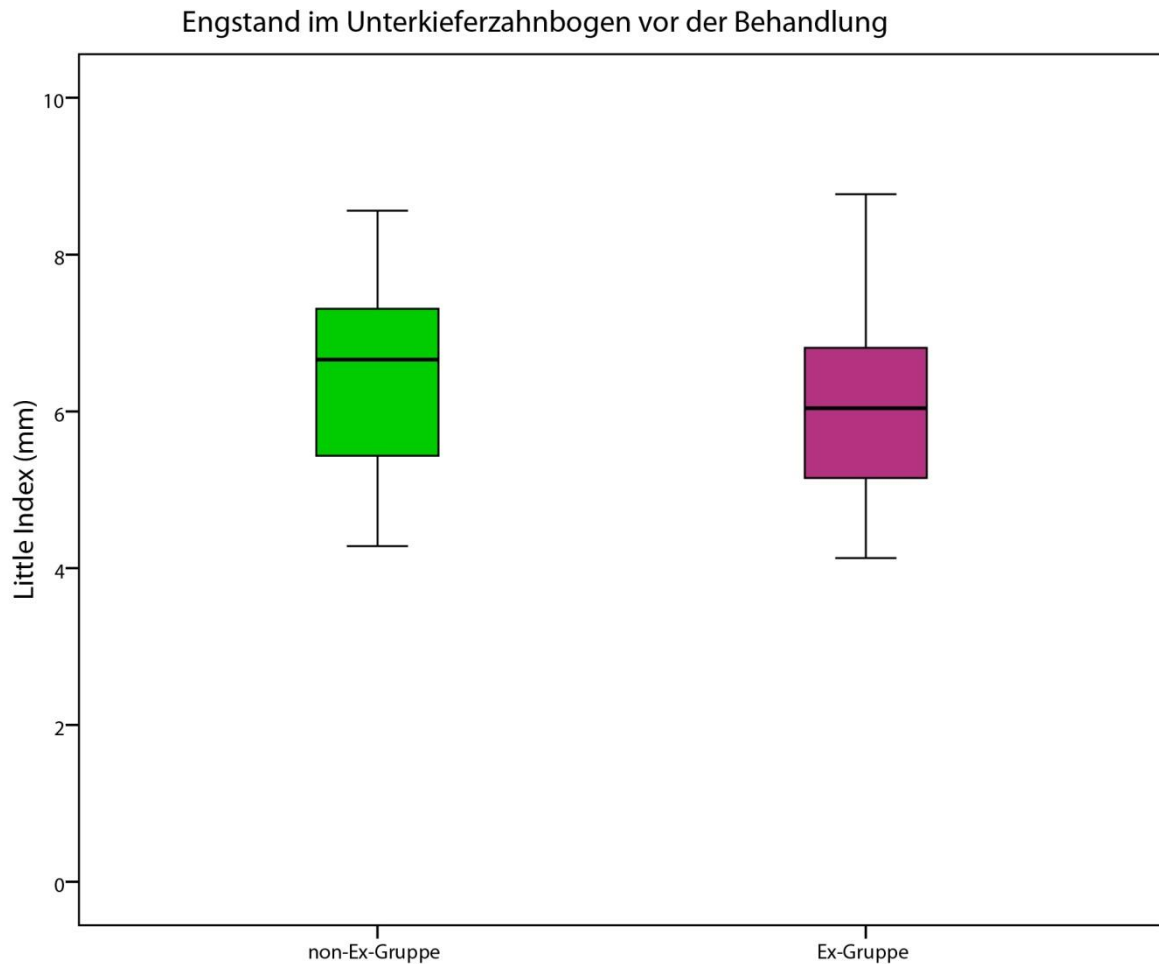
5.2.1. Engstand im Unterkiefer vor Behandlung (Little Index am Anfang)

Wie in Tabelle 3 festgehalten, unterschieden sich die beiden Gruppen vor der Behandlung bezüglich des Ausmasses des Unterkiefer-Engstandes kaum. In der Ex-Gruppe zeigte der Little-Index einen durchschnittlichen Wert von 6.04 mm, in der non-Ex-Gruppe einen solchen von 6.40 mm (Abbildung 6). In beiden Gruppen ist die Normalverteilung der Werte gegeben und der t-Test für Mittelwertgleichheit ergibt einen p-Wert von $p = 0.314$ und ist somit nicht signifikant (Tabelle 4).

5.2.2. Dauer der aktiven Behandlung

Die aktive Behandlung in der Ex-Gruppe dauerte durchschnittlich 2.0 ± 0.6 Jahre (738.9 ± 207.2 Tage) und unterschied sich von der Behandlungsdauer in der non-Ex-Gruppe mit einer durchschnittlichen Behandlungszeit von 1.3 ± 0.5 Jahren (488.1 ± 194.7 Tage) (Tabelle 3 und Abbildung 7). In beiden Gruppen zeigten die Zeiten für die aktive Behandlung eine Normalverteilung. Die zeitliche Differenz zwischen der Ex- und der non-Ex-Gruppe bezüglich der aktiven Behandlungsdauer betrug im Schnitt 250 Tage, ein Unterschied, welcher mittels t-Test als hoch signifikant zu werten ist ($p \leq 0.001$) (Tabelle 4).

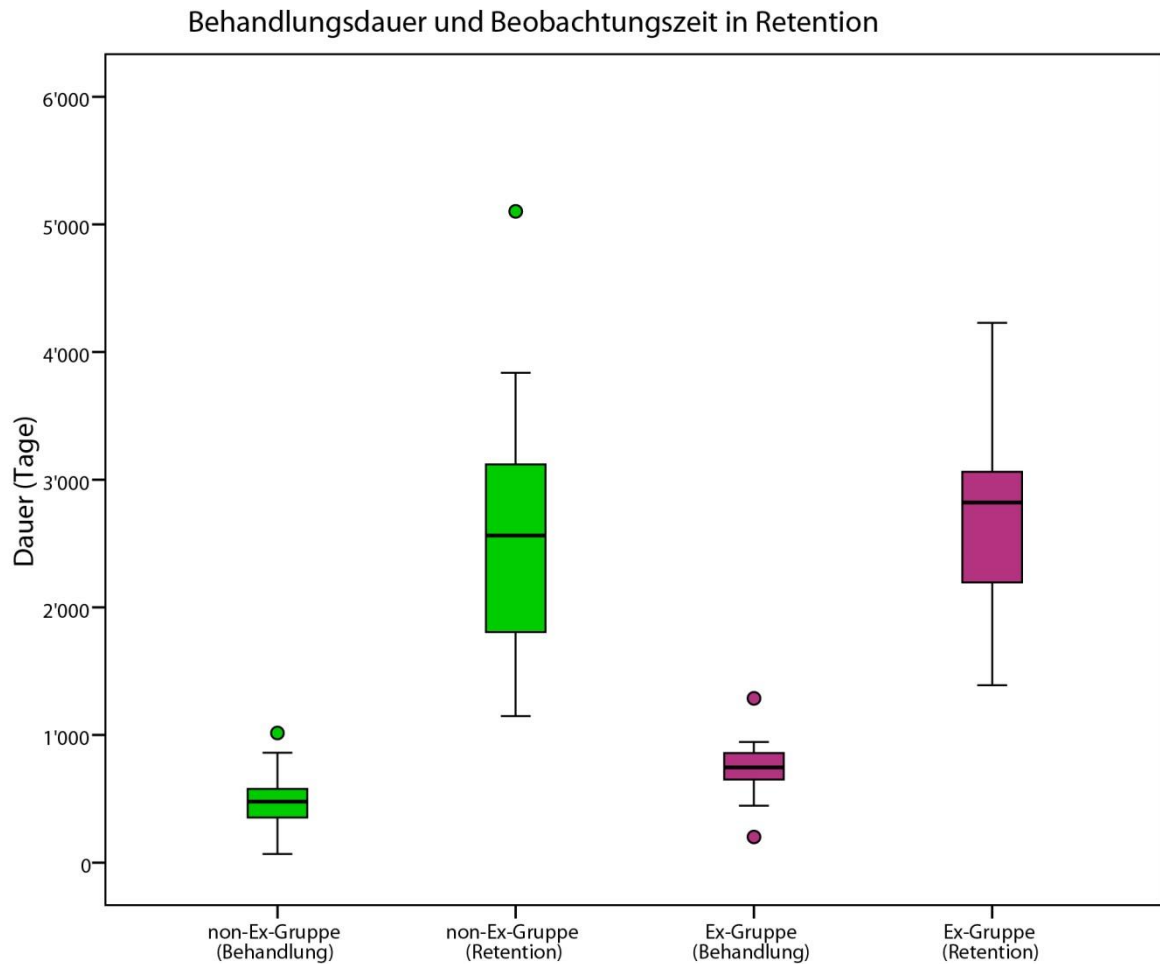
Abbildung 6.



5.2.3. Dauer der Retentionsüberwachung

Die Dauer der Retention zwischen Debond und den Finale-Unterlagen war in der Ex-Gruppe im Durchschnitt 7.3 ± 1.9 Jahre (2676.1 ± 684.1 Tage). In der non-Ex-Gruppe vergingen durchschnittlich 6.9 ± 2.4 Jahre (2532.6 ± 864.8 Tage) vom Debond bis zu den finalen Unterlagen (Tabelle 3 und Abbildung 7). Die Retentionszeiten sind laut Kolmogorov-Smirnov-Test in beiden Gruppen normalverteilt und der t-Test zeigte keine signifikanten Unterschiede bezüglich Retentionsdauer der beiden Gruppen ($p = 0.521$) (Tabelle 4).

Abbildung 7.



5.2.4. Alter in Retention

Die Altersverteilung der Patienten zum Zeitpunkt der Finale-Unterlagen zeigt Tabelle 3. Das durchschnittliche Alter der Patienten in der Ex-Gruppe war 23.8 ± 2.8 Jahre (8706.5 ± 1032.9 Tage), das in der non-Ex-Gruppe 24.8 ± 6.1 Jahre (9052.5 ± 2223 Tage). Die Altersstruktur in der non-Ex-Gruppe zeigte keine Normalverteilung. Auf Grund des Mann-Whitney-U-Test ($p = 0.394$) kann davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Gruppen bezüglich Altersstruktur nicht signifikant unterscheiden (Tabelle 4).

Tabelle 3. Deskriptive Statistik unterschiedlicher Variablen der Ex- und non-Ex-Gruppe (N: Anzahl, Min.: Minimalwert, Max.: Maximalwert)

Variable	Gruppe	N	Min.	Max.	Mittelwert	Standardabweichung
<i>Little Index (mm) am Anfang</i>	Ex	24	4.13	8.77	6.04	1.19
	non-Ex	26	4.28	8.56	6.40	1.29
<i>Behandlungsdauer (Tage)</i>	Ex	24	201	1287	738.88	207.2
	non-Ex	26	67	1015	488.12	194.71
<i>Retentionsdauer (Tage)</i>	Ex	24	1389	4228	2676.13	684.14
	non-Ex	26	1148	5102	2532.69	864.77
<i>Alter in Retention (Tage)</i>	Ex	24	6684	11762	8706.50	1032.92
	non-Ex	26	6899	15266	9052.54	2223.05

Tabelle 4. Statistische Analyse der Mittelwertgleichheit verschiedener Variablen zwischen den Gruppen (Ex versus non-Ex)

Variable	Normalverteilung	Statistischer Test	p-Wert
<i>Little Index am Anfang</i>	Gegeben	Zweistichproben-t-Test	0.314
<i>Behandlungsdauer</i>	Gegeben	Zweistichproben-t-Test	0.000**
<i>Retentionsdauer</i>	Gegeben	Zweistichproben-t-Test	0.521
<i>Alter in Retention</i>	Nicht gegeben	Mann-Whitney U-Test	0.394

* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 hochsignifikant (zweiseitig).

5.3. Veränderung der klinischen Kronenlängen

5.3.1. Non-Ex-Gruppe

Auf den Anfangsmodellen der non-Ex-Gruppe betrug die mittlere Kronenlänge der Eckzähne 9.0 ± 1.3 mm, nach der aktiven Behandlung 9.4 ± 1.3 mm und bei den finalen Unterlagen 9.9 ± 1.0 mm (Tabelle 5 und Abbildung 8). Die Veränderung der klinischen Kronenlänge der Eckzähne von Anfang bis in Retention lag in der non-Ex-Gruppe zwischen einer maximalen Verkürzung um 1.3 mm und einer maximalen Verlängerung der Kronenlänge um 4.3 mm. Die mittlere Veränderung war eine dezente Längenzunahme um 0.8 mm (Tabelle 5).

Die Frontzähne der non-Ex-Gruppe hatten am Anfang eine mittlere klinische Kronenlänge von 8.2 ± 0.8 mm, bei Debond eine mittlere Länge von 8.2 ± 0.9 mm und am Ende der Retentionsüberwachung massen sie 8.6 ± 1.0 mm (Tabelle 5 und Abbildung 9). Die maximale Längenzunahme einer Unterkiefer-Frontzahnkrone zwischen Anfang und Finale war 2.2 mm und die grösste Längenreduktion betrug 2.0 mm. Durchschnittlich hatte sich die Distanz zwischen Margo Gingivae und der Inzisalkante um 0.4 mm vergrössert (Tabelle 5).

5.3.2. Ex-Gruppe

Die klinische Kronenlänge der Eckzähne betrug in der Ex-Gruppe im Anfangswert 9.0 ± 1.4 mm, mass bei Debond 9.4 ± 1.6 mm und erreichte einen Wert von 10.1 ± 1.5 mm am Ende der beobachteten Retentionszeit (Tabelle 5 und Abbildung 8). Die Zunahme der Kronenlänge der Unterkiefer-Eckzähne von Anfang bis Finale war maximal 4.2 mm. Obwohl auch Patienten mit einer Verkürzung der Kronenlänge gefunden wurden, höchstens um 1.3 mm, ergab sich eine durchschnittliche Verlängerung der Distanz von Gingivalsaum bis zur Höckerspitze um 1.1 mm (Tabelle 5).

Die klinische Kronenlänge der Frontzähne wurde am Anfang mit 8.1 ± 0.8 mm gemessen. Bei Debond war die Distanz vom Margo Gingivae bis zur Inzisalkante mit 8.1 ± 0.8 mm immer noch gleich und beim Finale mass die durchschnittliche Kronenlänge 8.6 ± 1.1 mm (Tabelle 5 und Abbildung 9). Die Zunahme der Kronenlänge der Unterkiefer-Frontzähne von Anfang bis Finale betrug durchschnittlich 0.4 mm, wobei die Länge um maximal 2.9 mm zugenommen und auch um maximal 1.9 mm abgenommen hat (Tabelle 5).

Abbildung 8.

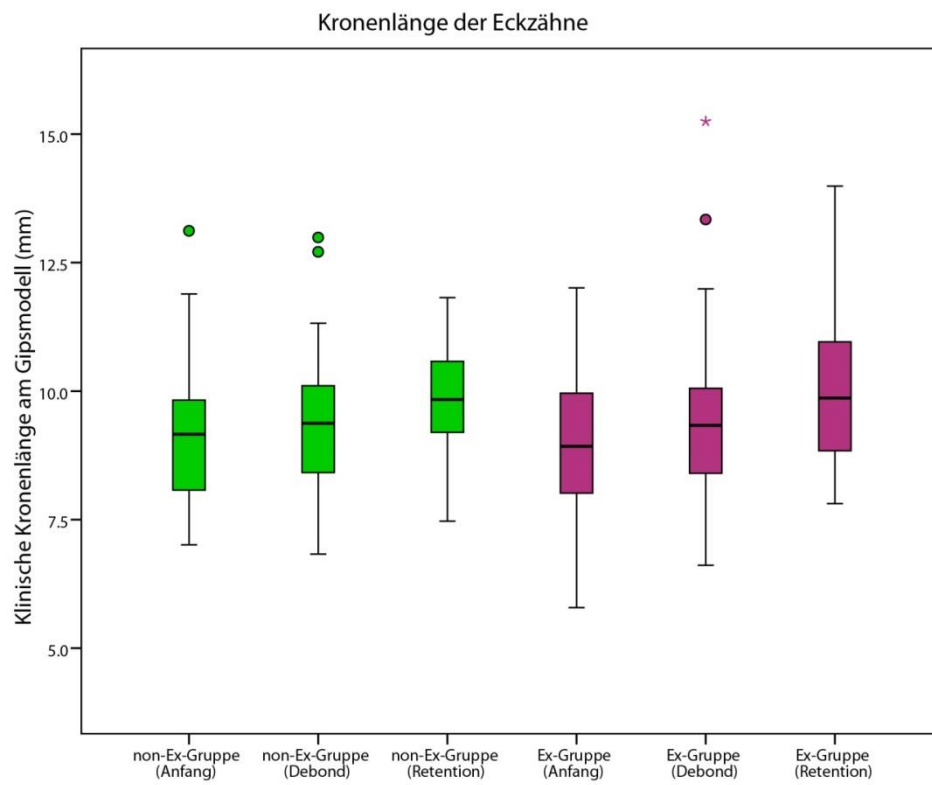


Abbildung 9.

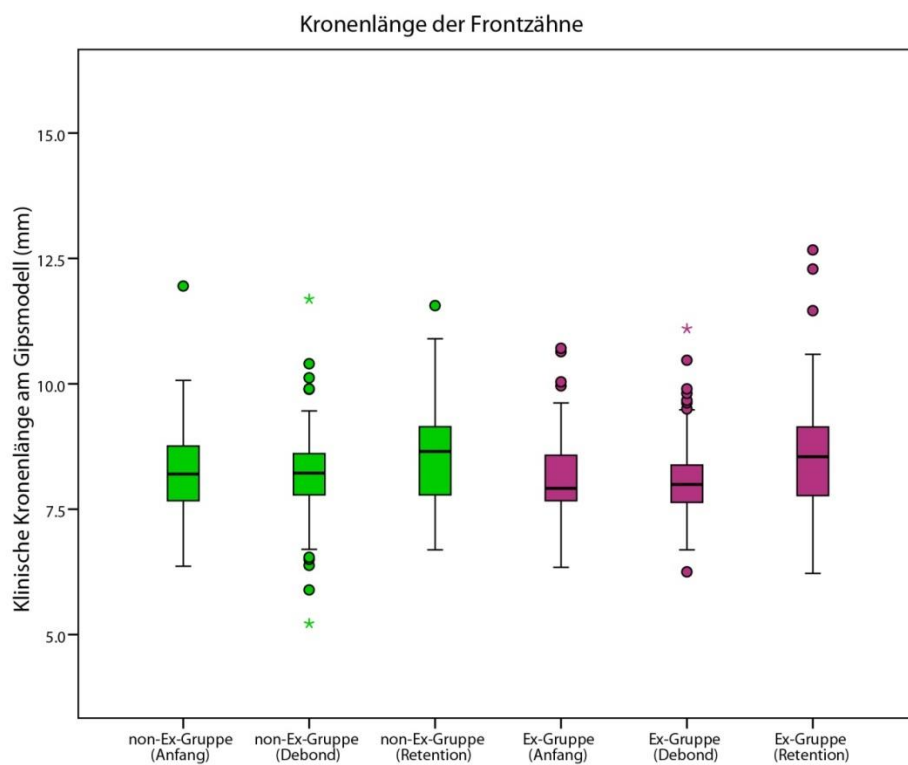


Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Kronenlängen und Differenzen in der Ex- und non-Ex-Gruppe (N: Anzahl, Min.: Minimum, Max.: Maximum)

	Gruppe	Zähne	Therapie- phase	Min.	Max.	Mittel- wert	Standard- abweichung
Länge (mm)	Ex	3er (N=48)	Anfang	5.79	12.01	9.001	1.432
			Debond	6.61	15.25	9.391	1.582
			Retention	7.81	13.99	10.070	1.468
		Front (N=96)	Anfang	6.34	10.71	8.120	0.819
			Debond	6.25	11.10	8.083	0.791
			Retention	6.22	12.67	8.553	1.098
	Non-Ex	3er (N=52)	Anfang	7.01	13.12	9.049	1.327
			Debond	6.83	12.99	9.368	1.283
			Retention	7.47	11.82	9.917	1.014
		Front (N=104)	Anfang	6.36	11.95	8.205	0.819
			Debond	5.22	11.69	8.157	0.923
			Retention	6.69	11.56	8.608	0.981
Differenz (mm)	Ex	3er (N=48)	Anfang- Retention	-1.27	4.24	1.067	1.347
		Front (N=104)	Anfang- Retention	-1.94	2.94	0.433	0.868
	Non-Ex	3er (N=48)	Anfang- Retention	-1.33	4.33	0.838	0.939
		Front (N=104)	Anfang- Retention	-1.99	2.19	0.368	0.755

5.4. Explorative Datenanalyse und Korrelationen

Die statistische Analyse der Kronenlängen der Front in der Ex- und non-Ex-Gruppe ergab weder zwischen Anfang und Debond, noch zwischen Anfang und Finale einen signifikanten Unterschied ($p > 0.050$). Auch bei den Eckzähnen ergaben sich keine signifikanten Differenzen ($p > 0.050$). Jedoch konnte mit dem Levene-Test gezeigt werden, dass sich die Varianz der durchschnittlichen Differenz der Eckzahnlänge beim Finale-Befund zwischen der Ex und non-Ex-Gruppe signifikant unterschieden ($p = 0.007$), sodass die Eckzahnkronenlänge in Retention in der Ex-Gruppe viel variierter war (siehe auch Abbildung 6). Dagegen unterschieden sich im Vergleich der beiden Gruppen die Varianzen der durchschnittlichen Differenzen der

Kronenlängen der Unterkiefer-Frontzähnen im Finale-Befund nicht signifikant ($p > 0.050$).

5.4.1. Korrelationen zum Therapieentscheid

Bei der Auswertung der kephalometrischen Messwerte wurde die Korrelation zwischen verschiedenen dentalen, symphysealen und skelettalen Variablen und dem Therapieentscheid Ex oder non-Ex berechnet (Tabelle 6). Keine der untersuchten Variablen korrelierte beim Anfangsbefund signifikant mit dem Therapieentscheid (Ex / non-Ex). Am ehesten waren D1 ($p = 0.097$) und der Inklinationswinkel α ($p = 0.119$) mit der Entscheidung zu einer der beiden Behandlungsmöglichkeiten verbunden. Auch die anfänglichen klinischen Kronenlängen der Eckzähne und der Fronten korrelierten nicht signifikant mit der gewählten Therapie.

Die Differenzen zwischen Anfang und Debond des Inklinationswinkels α , sowie D1, D2 und D3 korrelierten signifikant mit dem Therapieentscheid Ex oder non-Ex ($p < 0.050$). Auch die Differenzen zwischen Anfang und Finale korrelierten für die gleichen Variablen der beiden Gruppen signifikant mit dem Therapieentscheid ($p < 0.050$). Bei den symphysealen Variablen korrelierte einzig die Distanz D4 nicht signifikant mit der gewählten Therapie im selben Zeitraum.

Alle untersuchten Aspekte des vertikalen skelettalen Aufbaus (die vordere und hintere Gesichtshöhe, sowie die Divergenz der Kieferbasen) korrelierten weder zwischen Anfang und Debond, noch zwischen Anfang und Finale signifikant mit der entsprechenden Therapiewahl ($p > 0.050$).

Zusammenfassend lässt sich demnach festhalten, dass der Therapieentscheid in keinem nennenswerten Zusammenhang mit den meisten untersuchten Variablen stand. Einzig der Inklinationswinkel und die vorderen symphysealen Werte D1 und D2 wurden durch die Therapiewahl beeinflusst, da sich die Gruppen während der Behandlung (Differenz Debond – Anfang) signifikant unterschieden. Letztlich konnte noch beobachtet werden, dass sich dieser Gruppenunterschied auch während der beobachteten Retentionszeit nicht änderte.

Tabelle 6: Mann-Whitney U-test: Korrelation verschiedener Variablen zum Ex/non-Ex – Entscheid. Signifikanter Wert bedeutet eine Korrelation zum Extraktionsentscheid

<i>Variable</i>	<i>Anfangsbefund</i>	<i>Diff. Debond -</i>	<i>Diff. Retention -</i>
	<i>N</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Anfang</i>
		<i>p-Wert</i>	<i>Anfang</i>
		<i>Wert</i>	<i>Wert</i>
<i>Dentale Aspekte</i>			
α	49	0.119	0.000 **
Kronenlänge Eckzähne	196	0.826	0.560
Kronenlänge Front	196	0.451	0.723
<i>Symphyseale Aspekte</i>			
D1	49	0.097	0.000 **
D2	49	0.139	0.000 **
D3	49	0.150	0.012 *
D4	49	0.617	1.000
<i>Skelettale Aspekte</i>			
Vordere Gesichtshöhe	49	0.719	0.246
Hintere Gesichtshöhe	49	0.779	0.459
DIV	49	0.271	0.254

* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 hochsignifikant (zweiseitig).

5.4.2. Korrelationen zur Verlängerung der Kronenlänge der Eckzähne

In einem weiteren Schritt wurde die Beziehung der Zahnkronenlängenveränderung (von Anfang bis zu Retention) zu verschiedenen dentalen, symphysealen und skelettalen Parametern untersucht. Die Korrelationen der *Eckzahn-Kronenlängendifferenz* zum Anfangsbefund, zur Differenz zwischen Anfangsbefund und Debond und zwischen Anfangsbefund und Retention sind in Tabelle 7 widergegeben. Von den skelettalen Aspekten korrelierten die vordere und hintere Gesichtshöhe positiv, hoch signifikant mit der Kronenlängenveränderung der 3er, in ihren Differenzwerten zwischen Anfang und Debond, sowie zwischen Anfang und Finale ($p < 0.001$). Signifikante Korrelationen bei den dentalen Variablen waren zwischen der Distanz D2 (negativ korrelierend) und D4 (positiv korrelierend) zu

finden. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass von den Variablen im Anfangsbefund keine einzige symphyseale oder skelettale Variable existierte, welche mit der Kronenverlängerung der Eckzähne assoziiert war. Somit konnte aus keiner kephalometrischen Variabel im Anfangsbefund eine Beziehung zur Entwicklung von Kronenverlängerungen im Eckzahnbereich gefolgert werden. Im Gegensatz dazu schien jedoch die vertikale Entwicklung zu stehen, welche durch die Differenzen zwischen Debond und Anfangsbefund bzw. zwischen Retention und Anfangsbefund konstatieren liess, dass eine fortschreitende vertikale Entwicklung mit dem Fortschritt der Kronenverlängerung assoziiert war.

Tabelle 7: Korrelationstest nach Spearman-Rho: Beziehung verschiedener Variablen zur Zunahme der Kronenlänge der Eckzähne (Diff. Retention – Anfang)

Variable	Anfangsbefund			Diff. Debond - Anfang			Diff. Retention - Anfang		
	N	Korr.- koeff.	p- Wert	Korr.- koeff.	p- Wert		Korr.- koeff.	p- Wert	
Dentale Aspekte									
Engstand	98	-0.210	0.038 *	0.209	0.039 *		0.219	0.030 *	
α	98	0.010	0.926	0.059	0.567		-0.064	0.532	
Symphyseale Aspekte									
D1	98	0.165	0.105	-0.111	0.277		-0.148	0.146	
D2	98	0.160	0.115	-0.235	0.020 *		-0.230	0.022 *	
D3	98	0.111	0.277	0.039	0.703		-0.118	0.246	
D4	98	-0.116	0.257	0.327	0.001 **		0.367	0.000 **	
Skelettale Aspekte									
Vord. Gesichtshöhe	98	-0.064	0.534	0.440	0.000 **		0.346	0.000 **	
Hintere Gesichtshöhe	98	-0.073	0.473	0.361	0.000 **		0.287	0.004 **	
DIV	98	0.115	0.258	0.167	0.099		-0.099	0.331	

* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 hochsignifikant (zweiseitig).

5.4.3. Korrelationen zur Verlängerung der Kronenlänge der Frontzähne

Die Korrelationen der *Frontzahn-Kronenlängendifferenz* zum Anfangsbefund, zur Differenz zwischen Anfangsbefund und Debond und zwischen Anfangsbefund

und Retention sind in Tabelle 8 wiedergegeben. Hier korrelierte der Inklinationswinkel α schwach (0.158), jedoch signifikant mit der anfänglichen Länge der Zahnkronen ($p = 0.027$). Symphyseale Distanzen korrelierten nicht oder nur schlecht zur Zahnkronenverlängerung. Signifikante Korrelationen mit tiefen Korrelationskoeffizienten wiesen die vordere und hintere Gesichtshöhe sowie der Kieferbasenwinkel auf, ausschliesslich jedoch in ihrer Differenz zwischen Debond und Anfang.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die Verlängerung der Frontzahnkronen (Anfang bis Retention) mit dem Anfangsbefund kaum assoziiert war. Einzig ein grosser Inklinationswinkel α oder eine kleine symphyseale Breite (D4) waren mit der Verlängerung der Frontzahnkronen vergesellschaftet. Die Verlängerung der Frontzahnkronen wies zudem schwache Korrelationen zu den vertikalen skelettalen Aspekten auf, die während der Behandlungsdauer zunahmen.

Tabelle 8: Korrelationstest nach Spearman-Rho: Beziehung verschiedener Variablen zur Zunahme der Kronenlänge der Frontzähne (Diff. Retention – Anfang)

Variable	Anfangsbefund				Diff. Debond - Anfang			Diff. Retention - Anfang		
	N	Korr.- koeff.	p- Wert		Korr.- koeff.	p- Wert		Korr.- koeff.	p- Wert	
<i>Dentale Aspekte</i>										
Engstand	196	-0.069	0.338		0.065	0.364		0.024	0.737	
α	196	0.158	0.027	*	0.057	0.429		-0.177	0.013	*
<i>Symph. Aspekte</i>										
D1	196	0.018	0.798		-0.007	0.920		-0.001	0.986	
D2	196	0.074	0.302		-0.052	0.468		-0.057	0.428	
D3	196	0.013	0.854		0.178	0.012	*	-0.113	0.114	
D4	196	-0.205	0.004	**	0.249	0.000	**	0.160	0.025	*
<i>Skelettale Aspekte</i>										
Vord. Gesichtshöhe	196	-0.027	0.704		0.229	0.001	**	0.098	0.173	
Hint. Gesichtshöhe	196	-0.125	0.081		0.195	0.006	**	0.037	0.602	
DIV	196	0.112	0.120		0.178	0.013	*	0.074	0.302	

* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 hochsignifikant (zweiseitig).

5.4.4. Regressionsanalyse

Mittels Regressionsmodellen wurde der Einfluss verschiedener Variablen auf die Veränderung der Kronenlänge untersucht (Tabelle 9). Hierbei wurde sowohl ein multiples Regressionsmodell erstellt, welches den Einfluss des Therapieentscheides und der Veränderung (während der Behandlung) des Inklinationswinkels und der symphysealen Aspekte erkundete, als auch ein vereinfachtes Modell, welches nur den Einfluss des Therapieentscheides und der Veränderung des Inklinationswinkels erforschte. Obwohl einzelne dentalen Variablen einen signifikanten Einfluss auf die Veränderungen der Kronenlängen zu haben schienen, übte der Behandlungsentscheid keinen Einfluss auf die Veränderung der Kronenlänge aus. Auch die Veränderung des Inklinationswinkels während der Behandlung war kein zulässiger Prädiktor für eine Zunahme der klinischen Kronenlänge bei Eckzähnen und nur ein schwacher Prädiktor für eine Zunahme der klinischen Kronenlänge der Frontzähne. Generell muss jedoch festgehalten werden, dass der Determinationskoeffizient, welcher als Bestimmtheitsmass die Güte des Regressionsmodells ermittelte, bei den Eckzähnen und auch in der Front äusserst niedrig ausfiel. Somit musste gefolgert werden, dass sich die Zahnkronenverlängerungen nicht durch die erstellten Regressionsmodelle erklären lassen.

Tabelle 9

<i>Regressionsmodell</i>	Zunahme 3er (Retention – Anfang)			Zunahme Front (Retention – Anfang)		
	Regr.- koeff.	p- Wert		Regr.- koeff.	p- Wert	
<i>Dental</i>						
Konstante	0.449	0.171		0.606	0.000	**
Behandlungsentscheid Ex/non-Ex	0.534	0.168		-0.269	0.179	
<i>Veränderung während der Behandlung von:</i>						
- α	0.295	0.071		0.188	0.026	*
- D1	0.611	0.144		0.495	0.022	*
- D2	-0.305	0.039	*	-0.057	0.449	
- D3	-0.619	0.119		-0.358	0.081	
- D4	1.201	0.015	*	0.781	0.002	**
R²	0.223			0.117		

<i>Vereinfachtes Regressionsmodell</i>	Zunahme 3er (Retention – Anfang)			Zunahme Front (Retention – Anfang)		
	Regr.- koeff.	p- Wert		Regr.- koeff.	p- Wert	
<i>Dental</i>						
Konstante	1.030	0.000	**	0.343	0.004	**
Behandlungsentscheid Ex/non-Ex	0.023	0.934		0.109	0.552	
<i>Veränderung während der Behandlung von:</i>						
- α	0.022	0.267		0.027	0.049	*
R²	0.016			0.042		

* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 hochsignifikant (zweiseitig).

6. Diskussion

6.1. Reproduzierbarkeit

Die Interpretation der Intra-Klassen-Korrelations-Werte (ICC) der erhobenen Kephalometrie- und Gipsmodell-Messungen lässt auf eine zuverlässige Wiederholbarkeit der Messungen und hohe Reproduzierbarkeit der Daten schließen. Dieses Erkenntnis ist eine Grundvoraussetzung für die folgenden statistischen Auswertungen und Ausführungen.

Die Gipsmodelle wurden anhand des Little's Irregularity Index in Bezug auf Zahnbogenengstand vermessen. Obwohl in jüngerer Zeit der Little Index als „veraltet und inakkurat“ bezeichnet wurde (Macauley, et al. 2012), scheinen die erhaltenen ICC-Werte (allesamt über 0.99) die Annahme der Ungenauigkeit zu widerlegen. Zudem ist der Little Index sowohl bei praktizierenden Kieferorthopäden wie auch in akademischen Kreisen weit verbreitet, sodass die erhaltenen Resultate von allen Interessierten leicht interpretiert werden können und der Vergleich mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten leichter fällt.

6.2. Ausgangsdaten beider Gruppen

Die vorliegende Studie evaluiert eine retrospektive Untersuchung von Patienten, die wegen einem genau normierten moderaten Engstand in der Unterkieferfront kieferorthopädisch behandelt wurden. Mit der Extraktions- und der Nichtextraktions-Therapie wurden zwei verschiedene Behandlungsansätze miteinander verglichen. Dabei wurden die Einflüsse der Therapiewahl auf die klinische Kronenlänge von Front- und Eckzähnen untersucht und mögliche Assoziationen zum vertikalen Schädelaufbau sowie zur topographischen Lage der Front in der Unterkiefersymphyse erforscht. Um interpretierbare Resultate zu erhalten, ist es von elementarer Wichtigkeit, dass gewisse Parameter normiert werden und in beiden Gruppen gleich ausfallen, damit diese als beeinflussende Variablen ausgeschlossen werden können. So wurde als Erstes nachgewiesen, dass

kein signifikanter Unterschied im Anfangsbefund in Bezug auf Zahnbogenengstand vorlag. Als standardisierende Massnahme wurde auch eine vorliegende bleibende Dentition (bis zum ersten Molaren) als Einschlusskriterium vorausgesetzt, um Unsicherheiten bezüglich der Platzbilanz ausschliessen zu können. Die Magnitude des Engstandes beeinflusst unweigerlich das dentale Bewegungsausmass, da eine Nichtextraktions-Therapie bei wenig Engstand nur wenig Protrusion der Frontzähne erfordert, eine Extraktionstherapie jedoch eine deutliche Retraktion der Frontzähne mit sich ziehen würde. Umgekehrt bedarf eine Nichtextraktions-Therapie bei ausgeprägtem Engstand einer massiven Protrusion, und bei einer Extraktionstherapie würde die Front kaum in ihrer Lage verändert werden.

Weiter galt es zu gewährleisten, dass zum Zeitpunkt der Retentions-Unterlagen das durchschnittliche Alter beider Gruppen nicht signifikant unterschiedlich war. Da in der vorliegenden Untersuchung die klinische Kronenlänge als Variable für entstandene Rezessionen nach kieferorthopädischer Therapie gewählt wurde, ist die gleiche Altersverteilung in den beiden Gruppen essentiell, denn mit zunehmendem Alter steigt nachweislich die Prävalenz von Rezessionen (Renkema, et al. 2013, Thomson, et al. 2006, Vehkalahti 1989).

Um Langzeitfolgen wie Rezessionen untersuchen zu können, bedarf es einer genügend langen Beobachtungszeit (Renkema, et al. 2013). Als weiteres Kriterium durfte darum die Retentionszeit beider Gruppen nicht signifikant unterschiedlich sein. Eine Retentionszeit von mindestens 3 Jahren wurde gewählt, da gemäss wissenschaftlicher Evidenz allfällige behandlungsassoziierte Rezessionen sich spätestens nach 3 Jahren etabliert haben (Artun & Krogstad 1987). In beiden Gruppen betrug die durchschnittliche Retentionszeit circa 7 Jahre, wobei kein signifikanter Unterschied in der Retentionsdauer festgestellt werden konnte.

Im Hinblick auf die Dauer der aktiven Behandlung unterscheiden sich die Extraktions- und Nichtextraktions-Gruppe jedoch signifikant voneinander. Diese Beobachtung deckt sich mit der Erkenntnis einer systematischen Übersichtsarbeit (Mavreas & Athanasiou 2008). Patienten, deren Engstand mit Hilfe von Prämolaren-

Extraktionen behoben wurde, behandelte man im Durchschnitt mehr als ein halbes Jahr länger aktiv. Dieser Unterschied kann möglicherweise dadurch begründet werden, dass die lückennahen Zähne der Extraktionspatienten für den Lückenschluss um grössere Distanzen verschoben werden mussten.

6.3. Veränderungen der klinischen Kronenlänge

In der Extraktions- und der Nichtextraktions-Gruppe nahm die Kronenlänge der Unterkieferfrontzähne und -eckzähne zwischen Anfang und den Finale-Unterlagen in der Regel leicht zu (5.3.). Dies, obwohl die Frontzähne beider Gruppen nach der aktiven Behandlung eine durchschnittlich kürzere klinische Kronenlänge aufwiesen als am Anfang. Beobachtete Veränderungen von Kronenlängen bei Behandlungsende müssen jedoch mit grosser Zurückhaltung interpretiert werden, da unmittelbar nach der aktiven Behandlung eine Gingivitis vorliegt, die durch die kieferorthopädische festsitzende Apparatur verursacht und unterhalten wird (Artun, et al. 1997). Als Folge der erschwerten Mundhygiene kann sich das Zahnfleisch entzünden und anschwellen, was die klinische Kronenlänge reduziert. Die Modelle nach der aktiven Phase wurden direkt nach dem Debond der Apparatur erstellt und formen somit das entzündete Zahnfleisch mit ab. Da die Mundhygiene dem Patienten nach Absetzen der Apparatur wieder leichter fällt, verschwindet die Entzündung und die klinische Kronenlänge wird wieder grösser. Deshalb wurde die klinische Länge der Zahnkronen bei Debond nicht in die explorative Datenanalyse miteinbezogen.

Ein weiterer Faktor, der beobachtete Differenzen von klinischen Kronenlängen mitbeeinflussen kann (dies sowohl bei Debond als auch in Retention), ist die okklusale Abrasion der Zähne durch Kauen von Nahrung oder durch Parafunktionen wie beispielsweise das Bruxen. Dieses Phänomen kann besonders ausgeprägt sein, wenn Zähne an einen festsitzenden Retainer geklebt werden (Kuijpers, et al. 2009), was in der vorliegenden Untersuchung auch so geschah. Da jedoch beide Gruppen (Ex und non-Ex) gleichermassen betroffen waren und beide

gleich lange retiniert wurden, dürfte dieser Aspekt im Vergleich der Gruppen keinen wesentlichen Einfluss ausgeübt haben. Innerhalb einer Gruppe könnte jedoch die okklusale Abrasion, die zwischen dem Anfangsbefund und den Retentionsunterlagen erfolgt wäre, eine gewisse Rolle gespielt haben. Folgerichtig müssten die konstatierten Längenzunahmen der Zahnkronen so interpretiert werden, dass diese das Minimum an Rezession darstellen, da allenfalls die absolute klinische Kronenlänge durch okklusale Abrasion verkürzt wurde.

Die Zunahme der klinischen Kronenlänge in beiden Gruppen zwischen Anfang und Retention ist bei den Front- und Eckzähnen im Durchschnitt nur sehr gering und darum wie auch schon von Joss-Vassalli et al. postuliert kaum von klinischer Bedeutung (Joss-Vassalli, et al. 2010). Interessant ist jedoch die Tatsache, dass obwohl am Ende der Beobachtungszeit keine der Gruppen mehr Rezessionen aufweist, die Extraktions-Gruppe eine grössere Varianz bezüglich der Kronenlänge der Eckzähne entwickelt. Eine mögliche Ursache dieser Varianz ist eventuell in der Extraktionstherapie zu suchen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Extraktionsgruppe im Quervergleich ein heterogeneres Sample darstellt, welches unweigerlich zu mehr Varianz führen würde.

6.4. Datenanalyse und Korrelationen

Weder in der Extraktions- noch in der Nichtextraktions-Gruppe konnten signifikante Unterschiede zwischen den klinischen Kronenlängen der Front- und Eckzähne zu den unterschiedlichen evaluierten Zeitpunkten gefunden werden (5.4.). Somit kann gefolgert werden, dass in dieser Studie der Extraktionsentscheid nicht als ätiologischer Faktor für Rezessionen gelten kann. Generell darf daran gezweifelt werden, dass Rezessionen durch kieferorthopädische Behandlungen eines moderaten Engstandes in der Unterkieferfront hervorgerufen werden (Aziz & Flores-Mir 2011, Renkema, et al. 2013). Dies entspricht den Resultaten bereits durchgeführter Studien und Literaturübersichten (Artun & Grobety 2001, Aziz & Flores-Mir 2011, Djeu, et al. 2002, Melsen & Allais 2005). Es muss jedoch ergänzt

werden, dass in jüngerer Zeit von gewissen Forschungsgruppen die These postuliert wurde, dass allein die Tatsache kieferorthopädisch behandelt und retiniert worden zu sein, unabhängig vom Behandlungsumfang zu Rezessionen führen kann (Renkema, et al. 2013).

Letztlich gilt es zu vermerken, dass der Vergleich innerhalb der Gruppen einen Unterschied zeigt. So ist innerhalb einer Gruppe die Verlängerung der klinischen Krone bei Eckzähnen mehr als doppelt so gross als die Verlängerung der jeweiligen Frontzahnkronen (Ex-Gruppe: 1.07 mm bei Eckzähnen versus 0.43 mm bei Frontzähnen; non-Ex-Gruppe: 0.84 mm versus 0.37 mm; siehe Tabelle 5). Diese Beobachtung ist nicht im Einklang mit anderen Forschungen, die die Frontzähne als vulnerabler in Bezug auf Rezessionen sehen (Renkema, et al. 2013). In dieser Untersuchung wurde weiter analysiert, welche im Anfangsbefund erhobenen dentalen oder skelettalen Aspekte den Behandler bei der Therapiewahl beeinflusst haben könnten (5.4.1. und Tabelle 6). Von den skelettalen Aspekten korreliert keine der untersuchten Variablen mit dem Therapieentscheid Ex oder non-Ex, und auch die klinische Kronenlänge der Front- und Eckzähne haben keinen Einfluss auf die Wahl der Therapie. Einzig der Inklinationswinkel α und die Strecke D1 haben tendenziell Einfluss auf die Therapiewahl. Ein kleiner Inklinationswinkel bedeutet, dass mehr Bukkalkippung der Frontzähne erlaubt ist und im Frontzahnbereich mehr Platz gewonnen werden kann. Sind die Frontzähnen jedoch bereits im Anfangsbefund stark bukkal gekippt und trotzdem im Engstand, wird tendenziell mehr zugunsten einer Extraktionstherapie entschieden. Die Strecke D1 (Sagittale Position der Frontzähne auf Inzisalkantenhöhe) steht in enger Relation zu α . Sind die Frontzähne bereits stark nach bukkal gekippt, vermindert sich unweigerlich der Wert von D1. Umgekehrt wird D1 umso grösser, je steiler die Frontzähne stehen. Somit ist auch nachvollziehbar, dass bei einer kurzen D1-Distanz eher die Extraktionstherapie favorisiert wurde.

Weiter gilt es zu vermerken, dass in Forschungsarbeiten die Forderung gestellt wurde, den Inklinationswinkel im Anfangsbefund in der Planung

kieferorthopädischer Behandlungen zu respektieren (Gutermann, et al. 2014). Diesem Appell wurde anscheinend im untersuchten Patientengut Rechnung getragen.

Die Resultate belegen zudem, dass bei moderatem Engstand die topografische Lage der Unterkieferfront durch die Therapiewahl (Ex oder non-Ex) massiv beeinflusst wird: Der Inklinationswinkel α und die symphysealen Messwerte D1, D2 und D3 werden signifikant durch den Therapieentscheid verändert (Tabelle 6). Daraus kann gefolgert werden, dass die Frontzähne in Abhängigkeit der Therapiewahl am Ende der Behandlung an einem signifikant anderen Ort stehen. Die gewählte Therapie hat jedoch keinen Einfluss auf den vertikalen Aufbau des Gesichtschädels, die symphyseale Breite (D4), sowie die klinischen Kronenlängen der Front- und Eckzähne.

Es wurde schon in den Resultaten darauf hingewiesen, dass von den Variablen im Anfangsbefund keine einzige symphyseale oder skelettale Variable existiert, welche mit der Kronenverlängerung der Eckzähne assoziiert ist (Tabelle 7). Einzig die im Laufe der Behandlung konstatierten Veränderungen im vertikalen Gesichtsaufbau stehen in einem Korrelationsverhältnis zu den beobachteten Rezessionen: Sowohl in der Eckzahnregion als auch bei Frontzähnen war eine Vergrößerung der vorderen und hinteren Gesichtshöhe mit einer Verlängerung der klinischen Zahnkrone vergesellschaftet. Obwohl die Korrelationskoeffizienten schwach ausfallen, darf aufgrund der wiederholten Beobachtungen ein biologischer Zusammenhang angenommen werden. Zudem lassen die Resultate folgende Interpretation zu: Obwohl eine einzige Momentaufnahme wie ein Anfangsbefund nicht genügend Informationen beinhaltet um die Tendenzen zu Rezessionsentwicklung aufzudecken, können Verlaufskontrollen dagegen relevante Informationen über das dynamische Verhalten der vertikalen Gesichtsentwicklung beinhalten. Diese Erkenntnis fand schon in früheren Arbeiten Eingang (Brin, et al. 1982) und können nun partiell bestätigt werden.

Im Anfangsbefund ist der Engstand mit der klinischen Kronenlänge der Eckzähne signifikant negativ korreliert: je mehr Engstand im Anfangsbefund

vorliegt, desto weniger wird die klinische Krone der Eckzähne länger. Dieses Resultat scheint etwas paradox, denn generell kann angenommen werden, dass mehr Engstand zu mehr Protrusion und letztlich zu mehr Rezessionen führt. Eine mögliche Interpretation dieser negativen Korrelation wäre die Engstands-Variable als vom Extraktionsentscheid abhängige Variable zu deuten. Demnach würde ein kleiner Engstand auf eine Tendenz zur non-Ex-Gruppe weisen, was eventuell mit mehr Rezessionen vergesellschaftet sein könnte. Bei dieser Hypothese würde die Annahme der Vergleichbarkeit der Gruppen in Bezug auf Anfangsengstand verletzt werden. Eine weitere mögliche Erklärung für dieses Resultat könnte eine engstandsbedingte linguale Lage der Eckzähne im Anfangsbefund sein. Somit wären die Canini weniger exponiert und möglicherweise von einer dickeren, höheren Gingiva bedeckt, welche gemäss Literatur mit einem gewissen Rezessionsschutz in Verbindung gebracht wird (Aziz & Flores-Mir 2011, Yared, et al. 2006). Eine andere Erklärung könnte die Hygienefähigkeit des Patienten sein. Zähne im Engstand sind schwerer zu pflegen und somit wäre die Prävalenz der Gingivitis höher. Diese Schwellung der Schleimhaut verkürzt die klinische Kronenlänge.

Der Korrelationstest bei den Frontzähnen weist auf eine Assoziation zwischen der Rezessionstendenz und dem Inklinationwinkel sowie der absoluten Symphysenbreite (D4) hin, wobei Letztere negativ korreliert ist (Tabelle 8). Je protrusiver die Frontzähne im Anfangsbefund sind und je dünner die Symphyse ist, desto mehr muss damit gerechnet werden, dass sich die klinischen Kronen der Frontzähne über die Zeit verlängern werden. Gleichermassen wie bei den Eckzähnen spielen aber auch die vertikalen Aspekte in ihrer Entwicklung (konstatierte Differenz während der Behandlung) eine Rolle in Bezug auf Rezessionen.

Um die Aussagestärke der beobachteten Korrelationen adäquat interpretieren zu können, werden die korrelierenden Variablen als Prädiktoren in einem Regressionsmodell zusammengefasst (Tabelle 9). Obwohl gewisse Prädiktoren die statistische Signifikanz erreichen, bestätigt der erhaltene Determinationskoeffizient, dass die Güte des Regressionsmodells zu gering ist, um die Veränderungen der

Eckzahn- und Frontzahn-Kronenlänge mit den in der vorliegenden Studie untersuchten Variablen vollständig zu erklären. Sowohl der Determinationskoeffizient als auch alle Korrelationskoeffizienten der ermittelten Korrelationen lassen sich nur soweit interpretieren, dass die Regressionstendenz nur mässig bis schwach mit den untersuchten Variablen vergesellschaftet ist und es noch weitere Variablen geben muss, die einen Einfluss auf die klinische Kronenlänge haben. Wenn davon ausgegangen werden kann, dass tatsächlich Prädiktoren für Rezessionstendenzen existieren, wären weitere Studien nötig, um diese noch unbekannten Variablen zu eruieren. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die kieferorthopädie-assoziierte Rezessionsbildung eine multifaktorielle Ätiologie aufweist und somit mit Korrelationen und Regressionsmodellen nur unbefriedigend nachgekommen werden kann. Denn selbst in einem vereinfachten Regressionsmodell hat der Behandlungsentscheid (Ex / non-Ex) keinen signifikanten Einfluss auf die Zunahme der Front- und Eckzahn-Kronenlänge. Somit kann die Nullhypothese nicht widerlegt werden.

Gewisse methodologische Schwächen sind in dieser Arbeit als Limitationen zu erwähnen. Einerseits sind alle Messungen von einer Person unternommen worden, sodass ein interindividueller Vergleich versagt bleibt. Andererseits kann die Gruppengrösse, wenn auch ausreichend, doch als eher klein bemängelt werden. Zudem wurde in dieser retrospektiven Studie die Mundhygiene des Patienten, das Ausmass der okklusalen Abrasionen und die Art der Retention nicht evaluiert. Letztendlich kann auch die Mindestretentionszeit von 3 Jahren als zu kurz kritisiert werden, wobei die oben erwähnte wissenschaftliche Begründung diese vermeintliche Schwäche entkräftet.

Trotz gewisser Limitationen in der vorliegenden Studie lässt sich die grundlegende Erkenntnis aufrechterhalten, dass weder die Ex- noch die non-Ex-Therapie von moderaten Engständen in der Unterkieferfront zu labialen Gingivarezessionen führen. Falls sich Veränderungen der klinischen Kronenlängen ergeben, sind diese nur sehr gering und darum kaum von klinischer Bedeutung.

6.5 Konklusionen

- Bei gleichem Engstand ist die Extraktionstherapie mit rund 250 zusätzlichen Behandlungstagen signifikant länger.
- Während der Retention verlängern sich die klinischen Kronen der Front- und Eckzähne, jedoch nicht signifikant.
- Der Extraktionsentscheid kann nicht als ätiologischer Faktor für Rezessionen gelten.
- Die Eckzähne scheinen vulnerabler für Rezessionen zu sein als Frontzähne.
- Die topographische Lage der Unterkieferfrontzähne wird durch den Extraktionsentscheid stark beeinflusst.
- Intraindividuelle Verlaufsbelege über das dynamische Verhalten der vertikalen Gesichtsentwicklung lassen gewisse Rückschlüsse zu Rezessionstendenzen zu.
- Obwohl die Symphysenbreite und der Inklinationswinkel im Anfangsbefund mit der Rezessionsentwicklung bei Frontzähnen korrelieren, konnten keine verlässlichen Prädiktoren für Rezessionen ausfindig gemacht werden.

7. Literaturverzeichnis

Artun, J. & Grobety, D. (2001) Periodontal status of mandibular incisors after pronounced orthodontic advancement during adolescence: A follow-up evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **119**: 2-10.

Artun, J. & Krogstad, O. (1987) Periodontal status of mandibular incisors following excessive proclination. A study in adults with surgically treated mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **91**: 225-232.

Artun, J., Spadafora, A. T. & Shapiro, P. A. (1997) A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers. *European Journal of Orthodontics* **19**: 501-509.

Aziz, T. & Flores-Mir, C. (2011) A systematic review of the association between appliance-induced labial movement of mandibular incisors and gingival recession. *Australian Orthodontic Journal* **27**: 33-39.

Brin, I., Kelley, M. B., Ackerman, J. L. & Green, P. A. (1982) Molar occlusion and mandibular rotation: A longitudinal study. *American Journal of Orthodontics* **81**: 397-403.

Brunelle, J. A., Bhat, M. & Lipton, J. A. (1996) Prevalence and distribution of selected occlusal characteristics in the us population, 1988-1991. *Journal of Dental Research* **75** Spec No: 706-713.

de la Cruz, A., Sampson, P., Little, R. M., Artun, J. & Shapiro, P. A. (1995) Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **107**: 518-530.

Diedrich, P. (1995) Problems and risks in the movement of the mandibular anterior teeth. *Fortschritte der Kieferorthopädie* **56**: 148-156.

Djeu, G., Hayes, C. & Zawaideh, S. (2002) Correlation between mandibular central incisor proclination and gingival recession during fixed appliance therapy. *Angle Orthodontist* **72**: 238-245.

Dorfman, H. S. (1978) Mucogingival changes resulting from mandibular incisor tooth movement. *American Journal of Orthodontics* **74**: 286-297.

Gutermann, C., Peltomaki, T., Markic, G., Hanggi, M., Schatzle, M., Signorelli, L. & Patcas, R. (2014) The inclination of mandibular incisors revisited. *Angle Orthodontist* **84**: 109-119.

Jonsson, T., Arnlaugsson, S., Saemundsson, S. R. & Magnusson, T. E. (2009) Development of occlusal traits and dental arch space from adolescence to adulthood: A 25-year follow-up study of 245 untreated subjects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **135**: 456-462.

- Jonsson, T. & Magnusson, T. E. (2010) Crowding and spacing in the dental arches: Long-term development in treated and untreated subjects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **138**: 384 e381-387; discussion 384-386.
- Joss-Vassalli, I., Grebenstein, C., Topouzelis, N., Sculean, A. & Katsaros, C. (2010) Orthodontic therapy and gingival recession: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research* **13**: 127-141.
- Kuijpers, M. A., Kiliaridis, S., Renkema, A., Bronkhorst, E. M. & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2009) Anterior tooth wear and retention type until 5 years after orthodontic treatment. *Acta Odontologica Scandinavica* **67**: 176-181.
- Little, R. M. (1975) The irregularity index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *American Journal of Orthodontics* **68**: 554-563.
- Livas, C., Jongsma, A. C. & Ren, Y. (2013) Enamel reduction techniques in orthodontics: A literature review. *Open Dental Journal* **7**: 146-151.
- Macauley, D., Garvey, T. M., Dowling, A. H. & Fleming, G. J. (2012) Using little's irregularity index in orthodontics: Outdated and inaccurate? *Journal of Dentistry* **40**: 1127-1133.
- Mavreas, D. & Athanasiou, A. E. (2008) Factors affecting the duration of orthodontic treatment: A systematic review. *European Journal of Orthodontics* **30**: 386-395.
- Melsen, B. & Allais, D. (2005) Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: A retrospective study of adult orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **127**: 552-561; quiz 625.
- Patcas, R. (2010) Langzeitbetreuung nach kieferorthopädischer behandlung. Wie viel retention braucht die unterkieferfront? *Zahnarzt Praxis* **6**: 9-12.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Jr. & Moray, L. J. (1998) Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment need in the united states: Estimates from the nhanes III survey. *International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery* **13**: 97-106.
- Rateitschak, K. H., Herzog-Specht, F. & Hotz, R. (1968) Reaktion und regeneration des parodonts auf behandlung mit festsitzenden apparaten und abnehmbaren platten. *Fortschritte der Kieferorthopädie* **29**: 415-435.
- Renkema, A. M., Fudalej, P. S., Renkema, A., Bronkhorst, E. & Katsaros, C. (2013) Gingival recessions and the change of inclination of mandibular incisors during orthodontic treatment. *European Journal of Orthodontics* **35**: 249-255.
- Renkema, A. M., Fudalej, P. S., Renkema, A., Kiekens, R. & Katsaros, C. (2013) Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **143**: 206-212.

Renkema, A. M., Fudalej, P. S., Renkema, A. A., Abbas, F., Bronkhorst, E. & Katsaros, C. (2013) Gingival labial recessions in orthodontically treated and untreated individuals: A case - control study. *Journal of Clinical Periodontology* **40**: 631-637.

Slutzkey, S. & Levin, L. (2008) Gingival recession in young adults: Occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **134**: 652-656.

Staufer, K. & Landmesser, H. (2004) Effects of crowding in the lower anterior segment - a risk evaluation depending upon the degree of crowding. *Journal of Orofacial Orthopedics* **65**: 13-25.

Steiner, G. G., Pearson, J. K. & Ainamo, J. (1981) Changes of the marginal periodontium as a result of labial tooth movement in monkeys. *Journal of Periodontology* **52**: 314-320.

Thomson, W. M., Broadbent, J. M., Poulton, R. & Beck, J. D. (2006) Changes in periodontal disease experience from 26 to 32 years of age in a birth cohort. *Journal of Periodontology* **77**: 947-954.

Vasconcelos, G., Kjellsen, K., Preus, H., Vandevska-Radunovic, V. & Hansen, B. F. (2012) Prevalence and severity of vestibular recession in mandibular incisors after orthodontic treatment. *Angle Orthodontist* **82**: 42-47.

Vehkalahti, M. (1989) Occurrence of gingival recession in adults. *Journal of Periodontology* **60**: 599-603.

Wennstrom, J. L. (1996) Mucogingival considerations in orthodontic treatment. *Seminars in Orthodontics* **2**: 46-54.

Wennstrom, J. L., Lindhe, J., Sinclair, F. & Thilander, B. (1987) Some periodontal tissue reactions to orthodontic tooth movement in monkeys. *Journal of Clinical Periodontology* **14**: 121-129.

Wingard, C. E. & Bowers, G. M. (1976) The effects of facial bone from facial tipping of incisors in monkeys. *Journal of Periodontology* **47**: 450-454.

Yared, K. F., Zenobio, E. G. & Pacheco, W. (2006) Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **130**: 6 e1-8.

8. Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei all denen bedanken, die mir bei Problemen und Fragen stets unterstützend zur Seite standen und mir so meine Dissertation ermöglicht haben.

- Herr Prof. Dr. Th. Eliades und Frau Dr. W. Gnoinski, die mir als Klinikdirektor, respektive als Klinikdirektorin ad interim, das Schreiben meiner Dissertation auf ihrer Abteilung ermöglicht haben.
- Herr Dr. L. Müller für seine Hilfe beim Auswerten der Modelle und der Fernröntgenbilder.
- Herr Dr. G. Markic für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.
- Frau R. Daniel, Assistentin von Prof. Dr. Eliades, für das aufmerksame Lektorat.
- Dem Sekretariat der Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin am Zentrum für Zahnmedizin (UZH) für die Hilfe beim Zusammentragen der Patientenunterlagen.

Mein ganz spezieller Dank gilt meinem Betreuer Dr. R. Patcas für seine Ausdauer, die stete Hilfsbereitschaft und das Interesse an meiner Arbeit. Sein Einsatz und grosses Wissen waren für meine Dissertation ausserordentlich wertvoll.